Aus der Abteilung Augenheilkunde II
Ärztliche Direktorin: Professor Dr. E. Aulhorn
der Augenklinik der Universität Tübingen

Untersuchung der motorischen Zyklofusion durch Lagebestimmung des Blinden Fleckes

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
SIGRID VON GOETZ UND SCHWANENFLIESS
aus München

1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536522_0003

Aus der Abteilung Augenheilkunde II
Ärztliche Direktorin: Professor Dr. E. Aulhorn
der Augenklinik der Universität Tübingen

Untersuchung der motorischen Zyklofusion durch Lagebestimmung des Blinden Fleckes

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
SIGRID VON GOETZ UND SCHWANENFLIESS
aus München

1984

Dekan: Professor Dr. D. Plester
1. Berichterstatter: Professor Dr. V. Herzau
2. Berichterstatter: Privatdozent Dr. W. Lisch

Druck: Zeeb-Druck, Tübingen 7 (Hagelloch)

Herrn Professor Dr. V. Herzau danke ich für die Überlassung des Themas und für seine Unterstützung.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung	1
2.	Literaturüberblick	4
3.	Fragestellung	6
4.	Methodik	7
4.1.	Vorgehen	7
4.2.	Untersuchungsgeräte	7
4.3.	Untersuchungsverfahren	8
4.3.1.	Allgemeine Voraussetzungen	8
4.3.2.	Lagebestimmung des Blinden Fleckes	1o
4.3.2.1.	Untersuchung in Orthostellung	1o
4.3.2.2.	Untersuchung der Exzyklovergenz	12
4.3.2.3.	Untersuchung der Inzyklovergenz	12
4.3.3.	Untersuchung über den Einfluß der Bilddrehung	12
4.3.4.	Bestimmung der Zyklovergenz durch eine subjektive Methode	12
4.4.	Versuchspersonen	13
4.5.	Messungen	14
4.5.1.	Meßverfahren und Auswertung der Lagebestimmung des Blinden Fleckes	14
4.5.2.	Statistische Auswertung	15
4.5.3.	Meßverfahren und Auswertung der Untersuchung über den Einfluß der Bilddrehung	15
4.5.4.	Meßverfahren der subjektiven Methode	15
5.	Ergebnisse:	17
5.1.	- der Untersuchung der Exzyklovergenz	17
5.2.	- der Untersuchung der Inzyklovergenz	19
5.3.	- der Gesamtfusionsbreite	19
5.4.	- der Untersuchung über den Einfluß der Bilddrehung auf die Zyklovergenz	2o

5.5.	- der Bestimmung der Zyklovergenz durch eine subjektive Methode	22
5.6.	Synopsis der Ergebnisse	28
6.	Diskussion	29
6.1.	Nachweis der Zyklovergenz	29
6.2.	Vergleich der Ergebnisse mit früheren Arbeiten. Untersuchungen möglicher Einflüsse.	29
6.2.1.	Einfluß der Größe des Fusionsbildes auf die Zyklovergenz	29
6.2.2.	Einfluß der Konturenlage und des Konturenreichtums des Fusionsbildes auf die Zyklovergenz	32
6.2.3.	Individuelle Fusionsbreite	33
6.2.4.	Unterschiede der Ex- und Inzyklovergenz	34
6.2.5.	Einfluß der Bilddrehung auf die Zyklovergenz	35
6.2.6.	Verhältnis der motorischen und sensorischen Anteile an der Zyklofusion	36
6.3.	Verhältnis der monokularen Anteile der Zyklovergenz bei asymmetrischer Drehung der Fusionsbilder	36
6.4.	Hypothesen zur Zyklovergenz	38
6.5.	Vergleich der Ergebnisse der Lagebestimmung des Blinden Fleckes zur Messung von Zyklodeviationen der Augen	4o
7.	Zusammenfassung	43
8.	Literaturverzeichnis	45
9.	Lebenslauf	

1. Einleitung

Bei normalem beidäugigen Sehen werden die Gesichtslinien beider Augen unwillkürlich so eingestellt, daß sie sich im Fixierpunkt kreuzen. Das angeblickte Objekt kommt dadurch auf korrespondierenden Netzhautstellen zur Abbildung. Der optische Reiz eines jeden Details dieses Objektes stimuliert somit diejenigen Netzhautstellen am rechten und linken Auge, die den gleichen Richtungswert besitzen.
Die Einstellung der Augen zueinander erfolgt für dasjenige Objektdetail exakt, dem unser spezielles Interesse gilt, wird aber für alle wesentlichen Konturen erfüllt, die in einer etwa frontoparallelen Ebene um den Fixationspunkt liegen. Eine Messung dieser Horopter genannten Ebene zeigt, daß diese eine - vom Betrachter aus gesehen - konkave Form besitzt, wenn der Fixationspunkt weniger als zwei Meter entfernt liegt (Duke-Elder 1973).
Die Abbildung auf korrespondierenden Netzhautstellen ist Voraussetzung für unser normales beidäugiges Einfachsehen, nämlich der sensorischen Fusion der beiden retinalen Bilder auf kortikaler Ebene zu einem gemeinsamen Bildeindruck.

Fehler der motorischen Ausrichtung der Augen können innerhalb bestimmter Grenzen (motorische Fusionsbreite) durch entsprechend gegensinnige Augenbewegungen (Vergenzen) ausgeglichen werden. Der spezifische Reiz für diese Korrekturbewegungen ist die disparate, d.h. auf nicht-korrespondierende Netzhautstellen fallende Abbildung. Der Fühler des Regelkreises liegt wahrscheinlich im visuellen Kortex. Fusionelle Korrekturbewegungen sind langsamer als Blickbewegungen; man muß deshalb annehmen, daß ihre Steuerung über gesonderte Kanäle erfolgt.
Neben der motorischen Kompensationsfähigkeit für disparate Bilder hat das binokulare System auch im sensorischen Bereich Ausgleichsmechanismen, die jedoch quantitativ weniger leistungsfähig sind. Die sensorische Fusion kann in engen Grenzen auch Signale von nicht-korrespondierenden

Punkten zu einem binokularen Bild verschmelzen. Innerhalb des Panumschen Raumes (Duke-Elder 1973) können somit horizontale und vertikale Disparitäten auch sensorisch fusioniert werden.
Die Querdisparation, d.h. die horizontale Abweichung von der exakt korrespondenten Abbildung eines Gegenstandes ermöglicht eine stereoskopische Wahrnehmung, denn jede sensorische Fusion querdisparater Bilder ist mit dem Eindruck „vor" oder „hinter" der Fixationsebene verbunden (Duke-Elder 1973, Friedburg u. Meyer 1978). Die Fähigkeit, querdisparate Bilder zu fusionieren, wächst in Abhängigkeit von der Exzentrizität der gereizten Netzhautstellen. Überträgt man die retinale Topographie auf den Sehraum, so ist der vor und hinter der Horopterebene liegende Panumsche Raum um den Fixationspunkt herum klein. Seine Größe nimmt mit Abstand vom Fixationspunkt zu (Duke-Elder 1973).
Auch Vertikaldisparation kann sensorisch toleriert und motorisch ausgeglichen werden. Das Ausmaß der Kompensation ist jedoch geringer als bei der Querdisparation. Ein Informationsgewinn wie das durch Querdisparation bedingte Stereosehen ist dabei nicht gegeben.

In der vorliegenden Arbeit wird als Sonderfall der Fusion die Zyklofusion betrachtet. Durch gegensinnige Drehung monokular dargebotener Fusionsbilder um deren Mittelpunkt entstehen auf den Netzhautmeridianen zugleich vertikale und horizontale Disparitäten. Zyklodisparate Bilder können ebenfalls fusioniert werden (Lyle und Jackson 1967, Duke-Elder 1973, v.Noorden 1978, Burian 198o).
Die fusionelle Zyklovergenz, die dem motorischen Anteil der Zyklofusion entspricht, ist eine Rollung des Augapfels um die Gesichtslinie mit dem Ziel einer Abbildung auf korrespondierenden Netzhautstellen. Sie ist ein binokularer Vorgang und nach dem Heringschen Gesetz ist die motorische Antwort beider Augen dabei gekoppelt. Die Zyklovergenz erfolgt in erster Linie durch die schrägen Augenmuskeln, weniger durch die geraden Vertikalmotoren. Diese Vergenzbe-

wegungen werden als Ex- und Inzyklovergenz des Auges bezeichnet. Eine Exzyklovergenz des rechten Auges ist festgelegt als eine Drehung des rechten Auges im Uhrzeigersinn, eine Inzyklovergenz entsprechend als Drehung entgegen dem Uhrzeigersinn. Eine Exzyklovergenz des linken Auges entspricht einer Drehung des linken Auges entgegen dem Uhrzeigersinn, eine Inzyklovergenz wiederum einer Drehung des linken Auges im Uhrzeigersinn. Die Augen werden dabei von hinten betrachtet.

Für alle Formen der Disparation gilt also, daß die Fusion der retinalen Bilder durch einen sensorischen und einen sensorisch gesteuerten motorischen Vorgang erfolgen kann.

Die Bedeutung der fusionellen Vergenz und der sensorischen Fusion liegt darin, bei Wechsel der Fixationsdistanz, bei Anomalien der Ruhestellung der Augäpfel (Heterophorien) und geringgradigen Paresen binokulares Einfachsehen zu ermöglichen.

2. Literaturüberblick

Zyklovergenz bei Rotation horizontaler Fusionskonturen stereoskopischer Bilder um den Bildmittelpunkt wurde erstmals von Nagel 1861 und 1868 mit subjektiven Methoden untersucht. Der Befund wurde in der Folge zum einen abgelehnt (Hering 1868, 1869; Verhoeff 1899, 19o2, 1926), zum anderen - wiederum durch subjektive Untersuchungsmethoden - bestätigt (v. Helmholtz 1865; Hering 1879; Hofman und Bielschowsky 19oo; Ellerbrock 1946, 1954; Ogle und Ellerbrock 1946; Berger 1953; Crone 1971), und es wurde gezeigt, daß die Antwort auf Zyklodisparität durch Zyklovergenz unvollständig ist.

Den ersten Versuch, Zyklovergenz objektiv durch photographische Methoden zu messen, führten Kertesz und Jones 197o durch. Sie konnten jedoch keine Rollung der Augen in ihrem Experiment nachweisen.
Aufgrund dieser Ergebnisse wurde weiterhin angenommen, daß Zyklodisparität ausschließlich durch sensorische Fusion kompensiert würde bzw. eine mögliche motorische Antwort unter der Meßgenauigkeit der jeweilig verwendeten Methode läge (Kertesz 1972; Krekling 1973).
Zum ersten Mal konnten Crone und Everhard-Halm 1975 mit einer photographischen Methode fusionelle Zyklovergenz objektiv registrieren; mit einer subjektiven Methode ergaben sich übereinstimmende Messungen. Sie benutzten im Gegensatz zu Kertesz (Kertesz 197o, 1972), der eine Auswahl ungünstiger Bildreize von kleinem Durchmesser getroffen hatte, konturenreiche Fusionsbilder mit einem Durchmesser von 25 Grad, die zu einer motorischen Antwort von maximal 5 Grad Vergenz führten.
Später untermauerten Kertesz (1978) und Sullivan (1978, 1979) diese Aussagen ebenfalls durch objektive Methoden und untersuchten den Einfluß von Bildgröße, -art und -darbietungsform auf die motorische Antwort. Sie benutzten dazu spezielle Saugkontaktlinsen mit integrierter Suchspule

(modifizierte Methode nach Robinson, 1963) und registrierten dynamisch vertikale, horizontale und torsionale Augenbewegungen.

3. Fragestellung

Die objektiven Untersuchungsmethoden von Crone wie auch von Kertesz eignen sich nicht als Standardverfahren zur Prüfung der Zyklovergenz; zum einen verlangen sie eine aufwendige Apparatur, zum anderen haben die verwendeten Saugkontaktlinsen unerwünschte Begleiterscheinungen gezeigt.

In der vorliegenden Arbeit soll eine Methode geprüft werden, die bei einfacherer Versuchsanordnung und -durchführung vergleichbare Aussagen über die Zyklovergenz gestattet und damit auch klinisch anwendbar ist.

Die Zyklovergenz wird dabei durch Campimetrie und Trennung der Bildeindrücke beider Augen durch eine entsprechende haploskopische Vorrichtung (Phasendifferenzhaploskop nach Aulhorn, 1966) untersucht. Dazu wird die Fusion disparater, um den Bildmittelpunkt gedrehter, konturenreicher Fusionsbilder geprüft. Der motorische Anteil an der Gesamtfusion kann dann durch Lagebestimmung des Blinden Fleckes gemessen werden. Es wurde von der Annahme ausgegangen, daß sich das Auge bei Zyklovergenz um die Achse verrollen kann, die durch die Fovea sagittal verläuft, und der Blinde Fleck durch die Bulbusrollung seine Lage auf einer Kreislinie um die Fovea ändert.
Die Messung der Verlagerung des Blinden Fleckes unter haploskopischen Sehbedingungen ist ein Augenkliniken und Augenärzten zugängliches Verfahren.

Es sollten folgende Fragen beantwortet werden:

1. Läßt sich Zyklovergenz mit dieser Methode nachweisen?
2. Besteht eine Abhängigkeit zwischen der Zyklodisparität der vorgegebenen Fusionsbilder und dem Ausmaß der Zyklovergenz?
3. Entsprechen diese Ergebnisse den Ergebnissen bei subjektiver Prüfung der Zyklovergenz?

4. Methodik

4.1. Vorgehen

Die Gesamtfusionsbreite und die Zyklovergenz bei Exzyklorotation und Inzyklorotation vorgegebener Fusionsbilder wurde gemessen. Wir verglichen die Größe der motorischen Antwort des rechten und des linken Auges und untersuchten den Einfluß bestimmter Drehwinkel der Fusionsbilder auf die Amplitude der motorischen Antwort und das Verhältnis zur Gesamtfusion. Ferner wurden diese Ergebnisse mit den durch ein anderes Verfahren subjektiv gewonnenen Meßdaten verglichen.

4.2. Untersuchungsgeräte

Die für die Fragestellung interessierende Lagebestimmung des Blinden Fleckes wurde mit folgenden Geräten durchgeführt (Herzau 1980):

1. Einrichtung zur Trennung der Bildeindrücke des rechten und linken Auges (Analysator),
2. zwei Projektoren zur Darbietung der Fusionsbilder,
3. Projektor für den Prüfreiz,
4. zwei Projektoren für zusätzliche Bilddarbietungen für die subjektive Methode (nach 4.3.4.),
5. frontoparallele Projektionswand.

ad 1. Die Trennung der Bildeindrücke beider Augen erfolgte durch Phasen-Differenz-Haploskopie (Aulhorn 1966). Zwei identische Fusionsbilder wurden jeweils dem rechten und linken Auge monokular und alternierend durch phasenverschoben rotierende Sektorenscheiben angeboten. Die Rotationsfrequenz lag oberhalb der Verschmelzungsfrequenz. Es entstand ein kontinuierlicher, leicht lichtgeschwächter Bildeindruck. Die Bildtrennung der unter 2., 3., 4. angeführten Projektoren erfolgte auch nach diesem Prinzip.

ad 2. Über zwei Prado-Projektoren (Objektiv 1:2,8/3,5 mm), die über dem Betrachter montiert waren, projizierten wir

zwei identische Fusionsbilder auf die Wand. Die Stellung der Diapositive zueinander konnte durch eine drehbare, zentrierte Halterung am rechten Projektor beliebig verändert werden. Der Betrag dieser Drehung des Fusionsbildes wird im Folgenden als Drehwinkel „α" bezeichnet.

ad 3. Der Projektor für den Prüfreiz befand sich hinter der Versuchsperson. Der Strahlengang des Prüfreizlichtes wurde über einen drehbaren Spiegel an einem schwenkbaren Arm des Projektors abgelenkt und auf die Wand projiziert. Die Achse des Schwenkarmes war auf den Fixationspunkt auf der Projektionswand zentriert. Der Prüfpunkt konnte somit auf einer Kreislinie in beliebigem Abstand um den Bildmittelpunkt (Fixationspunkt) bewegt werden. Der Prüfreiz wurde nur monokular angeboten. Durch eine Schließvorrichtung mit einer Sektorenscheibe konnte der Strahlengang alternierend unterbrochen werden. Die Prüfpunktgröße betrug 13,75 Winkelminuten, die Leuchtdichte 1000 asb.

ad 4. Am Analysator des Phasendifferenzhaploskops waren in Reichweite des Betrachters zwei bewegliche Zusatzprojektoren befestigt; beide mit drehbaren Diapositivhalterungen. Die Bildtrennung erfolgte wie oben angeführt.

ad 5. Die Bilder wurden auf eine homogene weiße Wand projiziert. Der Beobachtungsabstand betrug 1,5 m.

4.3. Untersuchungsverfahren

4.3.1. Allgemeine Voraussetzungen

Alle Untersuchungen wurden in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Als Fusionsbild wurden zwei identische Diapositive (Bilddurchmesser 35 Grad) mit hohen Kontrastwerten benutzt.

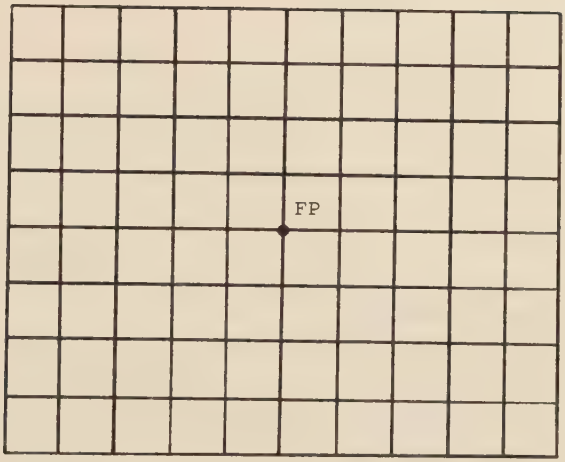

Abb. 1: Fusionsbild 35°
FP Fixationspunkt

Die identischen Diapositive wurden möglichst deckungsgleich projiziert. Der Bildmittelpunkt befand sich ungefähr in Augenhöhe des Betrachters (Höhe 1,18 m) und wurde als Fixationspunkt benutzt. Durch die Stellung der Projektoren war eine völlig deckungsgleiche Bildprojektion nicht möglich. Die Verzerrung in der Peripherie wurde ohne Schwierigkeiten von den Versuchspersonen fusioniert. Die Versuchsperson sah die Bilder durch den Analysator des Phasendifferenzhaploskops. Die Stellung des Kopfes wurde durch eine Kinnstütze fixiert.
Nach den weiter unten aufgeführten Auswahlkriterien und einem subjektiv scharfen, einfach konturierten Bild war mit Sicherheit Fusion anzunehmen.

4.3.2. Lagebestimmung des Blinden Fleckes
(vgl. Abbildung 2)

4.3.2.1. Untersuchung in Orthostellung

Die Lage des Blinden Fleckes beider Augen bestimmten wir zunächst in Orthostellung (die durch den Bildmittelpunkt laufende Vertikale beider Bilder stehen im Lot) der aufeinanderprojizierten Fusionsbilder auf der Prüffläche.

Mit dem Prüfreiz (Projektor 3) wurden die horizontalen Begrenzungen (Punkte A,B) des Blinden Fleckes in Höhe des Fixationspunktes bestimmt.
Diese Strecke wurde gevierteilt.
Von den so festgelegten Punkten ausgehend wurden am Oberrand des Blinden Fleckes drei Begrenzungspunkte (I,II,III), am Unterrand ein Punkt (IV) bestimmt.
Dazu wurde der Prüfpunkt des Projektors 3 durch den schwenkbaren Arm auf einer Kreislinie mit dem Fixationspunkt als Zentrum aus einem Bereich des Blinden Fleckes, in dem er mit Sicherheit bei Fusion und Fixation nicht gesehen wurde, in Richtung auf die Begrenzung des Blinden Fleckes bewegt.
Es wurden für jeden Punkt Mehrfachbestimmungen (drei Messungen) durchgeführt.
Durch eine vor dem Objektiv befindliche Schließvorrichtung konnte der Prüfreiz intermittierend angeboten und weggenommen werden.
Diese Methode mit einem flackernden Lichtpunkt erlaubte eine genauere Bestimmung der Begrenzungen, da sie Lokaladaptation verhindert.

Die Versuchsperson sollte stets das gleiche Wahrnehmungskriterium, das erste Aufflackern oder sicheres Sehen des Punktes, für die Länge des gesamten Versuches angeben.

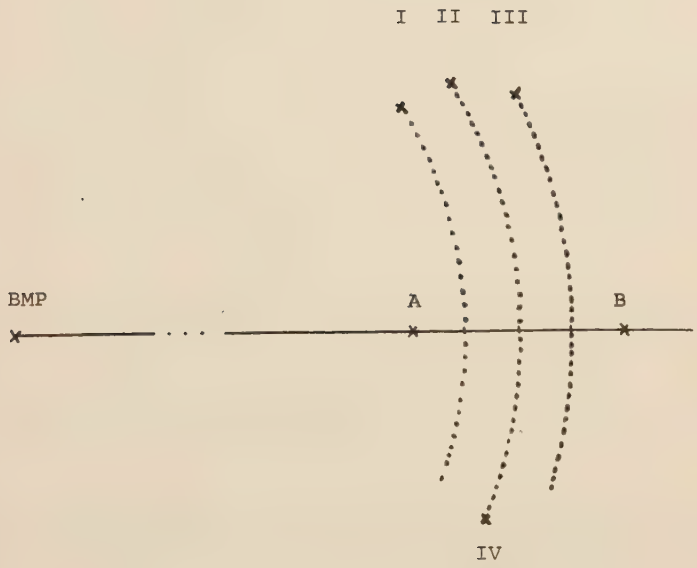

Abb. 2:

Lagebestimmung des Blinden Fleckes am Beispiel des rechten Auges.
Lage der Meßpunkte auf der Projektionsfläche in schematischer Darstellung.

BMP	Bildmittelpunkt
A,B	horizontale Begrenzungen des Blinden Fleckes
I,II,III,IV	Meßpunkte

4.3.2.2. Untersuchung der Exzyklovergenz bei Exzyklorotation des Bildes des rechten Auges.

Das Bild des rechten Auges wurde im Uhrzeigersinn um den Mittelpunkt gedreht. Es wurde der Drehwinkel α bestimmt, der noch vollständige Fusion mit scharfem Bildeindruck erlaubte. Der Drehwinkel α beschreibt dabei den Winkel, den die Vertikale des Bildes des linken Auges (Orthostellung) mit der durch die Drehung erzeugten Schräge des Bildes des rechten Auges bildet. In dieser Winkelstellung wurden erneut die Begrenzungspunkte des Blinden Fleckes beider Augen nach der oben geschilderten Methode bestimmt.

4.3.2.3. Untersuchung der Inzyklovergenz bei Inzyklorotation des Bildes des rechten Auges.

Das Bild des rechten Auges wurde entgegen dem Uhrzeigersinn um den Mittelpunkt gedreht. Vorgehen wie in 4.3.2.2.

4.3.3. Untersuchung über den Einfluß der Bilddrehung auf die Zyklovergenz.

Mit der gleichen Versuchsanordnung und -durchführung wurde das Verhältnis der motorischen Antwort zur Fusionsbreite bei steigender Exzyklorotation des Bildes des rechten Auges (Drehwinkel α von $2{,}5^{\circ}$; $5{,}0^{\circ}$; $7{,}0^{\circ}$) untersucht.

4.3.4. Bestimmung der Zyklovergenz durch eine subjektive Methode.

Im Anschluß an die Lagebestimmung des Blinden Fleckes bei gedrehten Bildern wurde die motorische Antwort subjektiv geprüft (Sullivan 1975). Über zwei Zusatzprojektoren (4) wurden zwei identische Bilder - schmale, helle Balken - jeweils monokular angeboten. Die Versuchsperson sollte die

Fusionsbilder in Orthostellung und unter den gleichen, individuell gefundenen Winkeln bei Exzyklorotation (4.3.2.2.) und Inzyklorotation (4.3.2.3.) fusionieren und dabei gleichzeitig die Balken auf diesem Fusionsbild zueinander parallel einstellen. Der Winkel zwischen den beiden Balken wurde gemessen. Voraussetzung für diese subjektive Prüfung war, daß bei Orthostellung der Bilder der eingestellte Winkel zwischen den Balken null Grad entsprach.

4.4. Versuchspersonen

Alle Versuchspersonen waren Studenten im Alter von 22 bis 28 Jahren. Sie wurden auf Sehschärfe, Stereopsis und latentes Schielen untersucht.

Auswahlkriterien: Visus $\geq$ 1,0
normale Stereopsis
Eso-, Exophorie $\leq$ 1,5 Grad

Bei allen Versuchspersonen wurde eine Sehschärfe von mindestens 1,o gemessen (monokular geprüft). Bei einer Versuchsperson betrug der Visus des rechten Auges mit Korrektur 0,8. Das stereoskopische Sehvermögen wurde im Abstand von 2,5 m mit einem handelsüblichen Phasendifferenzhaploskop qualitativ geprüft.Die Nahprüfung erfolgte quantitativ mit dem Titmus-Stereotest. Bei allen Versuchspersonen wurde Stereopsis von mindestens 40 Winkelsekunden nachgewiesen. Heterophorie wurde mit einem Dunkelrotglas im Fixationsabstand von 2,5 m geprüft. Bei allen Versuchspersonen lagen die Abweichungen unter 1,5 Grad Divergenz oder 1,5 Grad Konvergenz.

Wir führten bei elf Versuchspersonen die Lagebestimmung des Blinden Fleckes durch; bei drei Versuchspersonen prüften wir zusätzlich zum Vergleich subjektiv (4.3.4.). Der Einfluß der Bilddrehung auf die Zyklovergenz wurde bei zwei Versuchspersonen untersucht.

4.5. Messungen

4.5.1. Meßverfahren und Auswertung der Lagebestimmung des Blinden Fleckes

Bei diesem Vorgehen - 4.5.1., 4.5.2. und 4.5.3. - wurden Hinweise von G.Deichsel (Medizinische Biometrie Tübingen) berücksichtigt.
Die Lagedifferenz der Meßpunkte während der Darbietung der Bilder in Exzyklo- und Inzyklorotation wurde in Bezug auf die Orthostellung des Blinden Fleckes in Winkelgrad gemessen. Dazu wurde der Winkel β mit einem Winkelmesser bestimmt. Der größtmögliche Ablesefehler betrug $\pm$ 0,25 Grad. Der Winkel β beschreibt dabei den Winkel, der durch die Horizontale, die durch den Bildmittelpunkt verläuft, und die Verbindungslinie von Bildmittelpunkt und Begrenzungspunkt des Blinden Fleckes gebildet wird.
Abweichungen der Mehrfachbestimmungen bezüglich der Lage eines Begrenzungspunktes entsprechen meist der Größe des Prüfreizes ($0{,}23^{\circ} = 13{,}75'$).
Aus den insgesamt zwölf Einzelmessungen der vier Begrenzungspunkte wurde der Mittelwert und die Standardabweichung des Mittelwertes errechnet.
In einigen Fällen war der Meßpunkt III schwer zu bestimmen, wenn er in der steil abwärts verlaufenden lateralen Begrenzung des Blinden Fleckes lag und der Prüfreiz durch die vorgegebene Bewegung des Projektors nicht senkrecht zur Begrenzungslinie des Blinden Fleckes, sondern tangential bewegt wurde. Der Meßwert wurde dann gewichtet berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Winkelgrad angegeben. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden zusätzlich alle Werte der motorischen Antworten in Prozent - bezogen auf den Drehwinkel α des Bildes - umgerechnet.
Die motorischen Antworten des rechten und des linken Auges jeder Versuchsperson wurden addiert; die Standardabweichung der Summe wurde als mittlerer quadratischer Fehler Δf berechnet unter der Annahme, daß die Meßwerte in beide Richtungen gleichmäßig streuen und sich ein Teil

der Fehler gegenseitig aufhebt: $\Delta f = \sqrt{(\Delta\beta_{RA})^2 + (\Delta\beta_{LA})^2}$.

4.5.2. Statistische Auswertung

Bei allen elf Versuchspersonen wurden die errechneten Mittelwerte der motorischen Antworten mit ihren Standardabweichungen sowohl des rechten wie auch des linken Auges auf ihre Lage innerhalb eines Konfidenzintervalles überprüft (0,975 Quantil bei 12 Messungen).
Für alle Werte konnte dies bestätigt werden.

4.5.3. Meßverfahren und Auswertung der Untersuchung über den Einfluß der Bilddrehung

Da die Lageveränderung des Blinden Fleckes bei Exzyklorotation mit steigendem Drehwinkel α (+2,5°; +5,0°; +7,0°) relativ klein ist, wurde eine andere Meßmethode gewählt, deren Ablesefehler vernachlässigbar klein ist.
Für jeden Begrenzungspunkt (I, II, III, IV) wurden jeweils drei Bestimmungen in Orthostellung, ebenso bei Bilddrehung von +2,5°; +5,0° und +7,0° durchgeführt. Für jeden dieser zwölf Meßpunkte wurde der $\tan\beta = \frac{Gk}{Ak}$ berechnet, aus allen Werten das arithmetische Mittel gebildet und der Betrag der Augenrollung bestimmt.
(Vgl. Abbildung 3)

4.5.4. Meßverfahren der subjektiven Methode

Der von der Versuchsperson eingestellte Winkel zwischen den beiden Prüfreizen (Balken) wurde gemessen. Die Ableseungenauigkeit betrug ± 0,25 Grad.

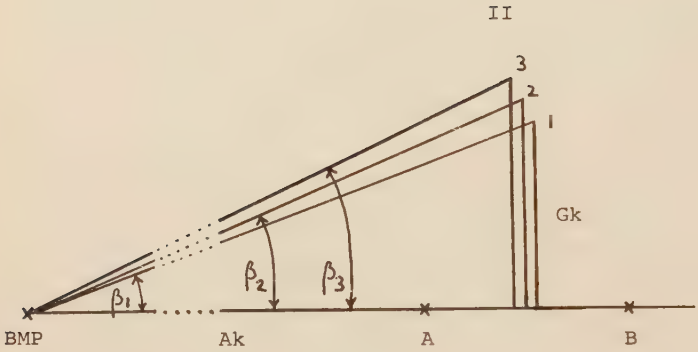

Abbildung 3 : Lagebestimmung des Blinden Fleckes am Beispiel des rechten Auges.
Schematische Darstellung des Meßverfahrens in 4.5.3. Der Abstand der Einzelmessungen 1, 2, 3 des Meßpunktes II ist willkürlich zur besseren Darstellung vergrößert.

BMP	Bildmittelpunkt
A,B	horizontale Begrenzungen des Blinden Fleckes
II	Meßpunkt II (Einzelmessungen 1, 2, 3)
Ak	Ankathete
Gk	Gegenkathete
β	Winkel der Augenrollung

5. Ergebnisse

5.1. Ergebnisse der Untersuchung der Exzyklovergenz (vgl. Tabelle 1, s. S. 23)

Wir führten die Untersuchung bei elf Versuchspersonen (VP) durch. Bei allen konnte eine motorische Antwort im Sinne einer Augenrollung registriert werden. In allen Fällen erfolgte die Verlagerung des Blinden Fleckes des rechten Auges im Uhrzeigersinn, am linken Auge entgegen dem Uhrzeigersinn.
Abhängig von dem individuell verschiedenen Drehwinkel α des Bildes, der noch Fusion erlaubte, ergaben sich unterschiedliche Amplituden der motorischen Antwort.
Die Summe der motorischen Fusion beider Augen lag zwischen $+2{,}42^{\circ} \pm 0{,}2^{\circ}$ und $+5{,}75^{\circ} \pm 0{,}32^{\circ}$.
Die maximale Zyklovergenz betrug $+5{,}75^{\circ} \pm 0{,}32^{\circ}$ bei $+8{,}5^{\circ}$ Drehung des Bildes des rechten Auges.
Die Beteiligung des rechten Auges an der motorischen Gesamtleistung war in sechs Fällen (VP 1, 2, 4, 5, 6, 9) stärker ausgeprägt, in vier Fällen (VP 3, 8, 1o, 11) der des linken Auges gleich oder sehr ähnlich und in einem Fall deutlich geringer (VP 7). Bei dieser Versuchsperson ergab sich auch bei der Nachuntersuchung kein Hinweis auf eine Augenmuskelstörung.
Im Mittel (Mittelwert $\bar{x}$ bei 11 Versuchspersonen) betrug die Verrollung, d.h. die motorische Antwort des rechten Auges bzw. des linken Auges bezogen auf den Drehwinkel α 31,1% $\pm$ 3,8% für das rechte Auge und 24,8% $\pm$ 3,2% für das linke Auge.
Diese Tendenz, bei Drehung des Bildes des rechten Auges eine stärkere Antwort des rechten Auges zu erhalten, zeigte sich bei allen Untersuchungen. Wie oben angegeben wurde nur bei einer Versuchsperson ein deutlich umgekehrtes Verhältnis gefunden.

Eine eindeutige Korrelation zwischen der Größe des Drehwinkels α und der Amplitude der Zyklovergenz der Versuchs-

personen untereinander ließ sich nicht zeigen. Bei gleichem Drehwinkel α wurden folgende individuell verschiedene motorische Antworten gemessen:

VP	Drehwinkel α	Mot. Antw. in Grad Summe (R.A. + L.A.)
1	$+5,0^{\circ}$	$+2,42 \pm 0,2$
2	$+5,0^{\circ}$	$+2,8 \pm 0,32$
6	$+5,0^{\circ}$	$+3,46 \pm 0,32$
9	$+8,5^{\circ}$	$+2,5 \pm 0,25$
11	$+8,5^{\circ}$	$+3,17 \pm 0,24$
1o	$+8,5^{\circ}$	$+5,75 \pm 0,32$

Tabelle 5: Individuelle Unterschiede der motorischen Antwort bei gleichem Drehwinkel α des Bildes.

VP Versuchsperson
α Drehwinkel des Bildes
R.A. rechtes Auge
L.A. linkes Auge

Das Verhältnis von motorischem Anteil zu sensorischem Anteil bei fusionierter Zyklodisparität zwischen $+5,0^{\circ}$ und $+8,5^{\circ}$ war bei allen Versuchspersonen verschieden. Ausgehend von der Größe der Gesamtfusionsbreite (Summe aus den Drehwinkeln α bei Ex- und Inzyklorotation) kann man zwei Gruppen bilden:

Gruppe I : Gesamtfusionsbreite von $7,5^{\circ}$ bis $10,5^{\circ}$
Gruppe II : Gesamtfusionsbreite von $13,0^{\circ}$ bis $17,0^{\circ}$

Für die erste Gruppe (VP 1-6) ergab sich ein Mittelwert von 62,1 ± 6,0% motorische Fusion für Drehwinkel α , wobei $+5,0^{\circ} \leq \alpha \leq +7,5^{\circ}$ betrug.
Für die zweite Gruppe (VP 7-11) wurde ein Mittel von 50,2% ± 7,3% errechnet bei Drehwinkel α , wobei $+8,0^{\circ} \leq \alpha \leq +8,5^{\circ}$ betrug.

5.2. Ergebnisse der Untersuchung der Inzyklovergenz (vgl. Tabelle 2, s. S. 24)

Die Untersuchung wurde bei denselben elf Versuchspersonen wie in 5.1. durchgeführt. Wiederum konnte in allen Fällen eine motorische Antwort registriert werden; die Verlagerung des Blinden Fleckes beider Augen entsprach einer Drehung nach innen, auf der Projektionsfläche somit am rechten Auge einer Verlagerung entgegen dem Uhrzeigersinn, am linken Auge im Uhrzeigersinn. Die Summe der motorischen Antwort beider Augen lag zwischen $-1,13^{\circ} \pm 0,13^{\circ}$ und $-4,83^{\circ} \pm 0,24^{\circ}$ bei Drehwinkel α zwischen $-2,0^{\circ}$ und $-8,5^{\circ}$. Die maximale Zyklovergenz betrug $-4,83^{\circ} \pm 0,24^{\circ}$ (entsprechend 56,8% ± 2,8% motorische Fusion) bei einem Drehwinkel α von $-8,5^{\circ}$.

Bei zehn Versuchspersonen war der Anteil des rechten Auges an der motorischen Arbeit deutlich größer (VP 1, 2, 4, 8, 10) bzw. größer oder ähnlich (VP 3, 5, 7, 9, 11). Nur bei einer Versuchsperson (VP 6) wurde eine stärkere Antwort des linken Auges gemessen. Bei zwei Versuchspersonen (VP 4, 8) wurde am linken Auge keine motorische Fusionsbewegung gemessen. Im Mittel betrug die Antwort des rechten Auges 39,6% ± 6,7%, die des linken Auges 18,2% ± 4,3%.

5.3. Gesamtfusionsbreite (vgl. Tabelle 3, s. S. 25)

Die Gesamtfusionsbreite setzt sich aus den Drehwinkeln α der Ex- und Inzyklorotation zusammen. Wir fanden Gesamt-

fusionsbreiten zwischen 7,5° und 17,0°.
Die Summe der motorischen Arbeit beider Augen erreichte Werte von 4,42° ± 0,29° bis 10,24° ± 0,45°.
Der motorische Anteil an der Fusion in Bezug auf die Gesamtfusionsbreite lag zwischen 33,7% ± 2,4% und 73,6% ± 3,5%. Es ergab sich ein Mittelwert von 56,6% ± 3,5%.

In zehn Fällen war die motorische Antwort des rechten Auges größer als die des linken Auges, bei einer Versuchsperson (VP 7) jedoch kleiner.
Im Mittel betrug der Anteil des rechten Auges an der Zyklovergenz 33,5% ± 2,6%, der des linken Auges 22,8% ± 1,8%.
Hieraus errechnet sich das Verhältnis Motorik zu Sensorik

für die Gruppe I	63 %	:	37 %,
für die Gruppe II	49 %	:	51 %.

Eine eindeutige Beziehung zwischen der Fusionsbreite bei Ex- und Inzyklorotation konnte nicht gefunden werden. Allerdings tolerierten die Versuchspersonen, die nur kleine Drehwinkel α in Exzyklorotation fusionieren konnten, meist auch nur kleine Drehwinkel α in Inzyklorotation. Bei neun Versuchspersonen konnten in Exzyklorotation größere Drehwinkel α toleriert werden als in Inzyklorotation. Bei einer Versuchsperson (VP 11) waren die fusionierbaren Winkel α gleich groß, bei einer Versuchsperson (VP 6) der Drehwinkel α in Inzyklorotation um 0,5° größer.

5.4. Ergebnisse der Untersuchung über den Einfluß der Bilddrehung auf Zyklovergenz.
(vgl. Tabelle 4, s. S. 26)

Bei zwei Versuchspersonen (VP 1, 2) wurde die Verlagerung des Blinden Fleckes bei Exzyklorotation des Bildes des rechten Auges bei vorgegebenen Drehwinkeln α von +2,5°;

+5,0° und +7,0° gemessen. Bei beiden Versuchspersonen konnte bei steigendem Drehwinkel α eine absolute Amplitudenzunahme registriert werden.
Relativ, d.h. auf den Gesamtbetrag des Drehwinkels α bezogen, lag jedoch der motorische Anteil an der Fusionsbreite bei einem Drehwinkel α von +2,5° um 70%, bei einem Drehwinkel α von +5,0° und +7,0° um 60%.
Setzt man die Amplitude der motorischen Antwort bei Drehwinkel α von +2,5° gleich 1 und bezieht auf diesen Wert die absoluten Werte der motorischen Antworten bei Drehwinkeln α von +5,0° und +7,0° , so findet man folgende Verhältnisse:

		α_1 +2,5°		α_2 +5,0°		α_3 +7,0°
VP 1	RA	1	:	1,4	:	1,9
	LA	1	:	1,7	:	2,8
	(RA + LA)	1	:	1,5	:	2,2
VP 2	RA	1	:	1,7	:	2,5
	LA	1	:	2,1	:	2,6
	(RA + LA)	1	:	1,9	:	3,7

Tabelle 6: Verhältnis der motorischen Antworten bei steigendem Drehwinkel α bezogen auf die motorische Antwort bei Drehwinkel α von 2,5°.

VP Versuchsperson
RA rechtes Auge
LA linkes Auge
α Drehwinkel des Bildes

5.5. Ergebnisse der Bestimmung der Zyklovergenz durch eine subjektive Methode

Die von den Versuchspersonen durch die Balken auf dem Fusionsbild eingestellten Winkel entsprachen den in 5.1. und 5.2. gemessenen motorischen Antworten mit Abweichungen von durchschnittlich $\pm$ 0,5° , maximal $\pm$ 1,0°.

Tabelle 1: Exzyklovergenz

Gruppe I VP	Bilddrehung in °	RA in °	LA in °	(RA + LA) in °	RA in %	LA in %	(RA + LA) in %
1	+5,0	+1,75 ± 0,14	+0,67 ± 0,14	+2,42 ± 0,2	35 ± 2,8	13,4 ± 2,8	48,4 ± 4
2	+5,0	+1,67 ± 0,29	+1,13 ± 0,13	+2,8 ± 0,32	33,4 ± 5,8	22,6 ± 2,6	56,0 ± 6,4
3	+5,5	+2,25 ± 0,32	+2,25 ± 0,14	+4,5 ± 0,35	40,9 ± 5,8	40,9 ± 2,5	81,8 ± 6,4
4	+7,5	+1,83 ± 0,14	+1,5 ± 0,25	+3,33 ± 0,29	24,4 ± 1,9	20,0 ± 3,3	44,4 ± 3,8
5	+5,5	+2,5 ± 0,2	+1,5 ± 0,2	+4,0 ± 0,28	45,5 ± 3,6	27,3 ± 3,6	72,8 ± 5,1
6	+5,0	+2,83 ± 0,29	+0,63 ± 0,13	+3,46 ± 0,32	56,6 ± 5,8	12,6 ± 2,6	69,2 ± 6,4
$\bar{X}_I$		+2,14 ± 0,19	+1,28 ± 0,25	+3,42 ± 0,31	39,4 ± 6,1	22,8 ± 4,3	62,1 ± 6,0
Gruppe II							
7	+8,0	+1,33 ± 0,14	+3,13 ± 0,13	+4,46 ± 0,19	16,6 ± 1,8	39,0 ± 1,6	55,8 ± 2,4
8	+8,0	+2,38 ± 0,24	+2,5 ± 0,29	+4,88 ± 0,38	29,8 ± 3	31,1 ± 3,6	60,9 ± 4,8
9	+8,5	+1,5 ± 0,25	+1,0 ± 0	+2,5 ± 0,25	17,6 ± 2,9	11,7 ± 0	29,3 ± 2,9
10	+8,5	+2,75 ± 0,32	+3,0 ± 0	+5,75 ± 0,32	32,4 ± 3,7	35,3 ± 0	67,7 ± 3,7
11	+8,5	+1,5 ± 0,2	+1,67 ± 0,14	+3,17 ± 0,24	17,6 ± 2,3	19,6 ± 1,6	37,2 ± 2,8
$\bar{X}_{II}$		+1,89 ± 0,28	+2,26 ± 0,41	+4,15 ± 0,58	22,8 ± 3,4	27,3 ± 5,1	50,2 ± 7,3
$\bar{X}_{(I+II)}$		+2,03 ± 0,16	+1,73 ± 0,26	+3,75 ± 0,32	31,1 ± 3,8	24,8 ± 3,2	56,1 ± 4,8

Tabelle 2: Inzyklovergenz

Gruppe I VP	Bilddrehung in °	RA in °	LA in °	(RA + LA) in °	RA in %	LA in %	(RA + LA) in %
1	-2,5	-1,25 ± 0,14	-0,75 ± 0,14	-2,0 ± 0,2	50 ± 5,6	37,5 ± 5,6	80 ± 8,0
2	-3,0	-1,5 ± 0,25	-0,63 ± 0,13	-2,13 ± 0,28	50 ± 8,3	21 ± 4,3	71 ± 9,3
3	-3,0	-0,63 ± 0,13	-0,5 ± 0	-1,13 ± 0,13	21 ± 4,3	16,6 ± 0	37,6 ± 4,3
4	-2,0	-2,0 ± 0,25	0	-2,0 ± 0,25	100 ±12,5	0	100 ± 12,5
5	-4,0	-0,88 ± 0,23	-0,63 ± 0,13	-1,51 ± 0,26	22 ± 5,6	15,6 ± 3,3	37,8 ± 6,5
6	-5,5	-1,88 ± 0,13	-2,38 ± 0,13	-4,26 ± 0,18	34,2 ± 2,4	43,3 ± 2,4	77,5 ± 3,2
$\bar{X}_I$		-1,37 ± 0,22	-0,82 ± 0,33	-2,17 ± 0,45	46,2 ±11,9	22,3 ± 6,5	67,3 ± 10,2
Gruppe II							
7	-5,0	-1,0 ± 0	-0,5 ± 0	-1,5 ± 0	20 ± 0	10 ± 0	30 ± 0
8	-5,0	-1,5 ± 0,2	0	-1,5 ± 0,2	30 ± 4	0	30 ± 4
9	-6,0	-1,5 ± 0,2	-0,88 ± 0,13	-2,38 ± 0,24	25 ± 3,3	14,6 ± 2,17	39,6 ± 4
10	-6,5	-3,16 ± 0,14	-1,33 ± 0,29	-4,49 ± 0,32	48,6 ± 2,1	20,5 ± 4,5	69,1 ± 4,9
11	-8,5	-3,0 ± 0,2	-1,83 ± 0,14	-4,83 ± 0,24	35,3 ± 2,3	21,5 ± 1,6	56,8 ± 2,8
$\bar{X}_{II}$		-2,0 ± 0,44	-0,91 ± 0,32	-2,94 ± 0,72	31,8 ± 4,9	13,3 ± 3,9	45,1 ± 7,7
$\bar{X}_{(I+II)}$		-1,66 ± 0,24	-0,86 ± 0,22	-2,52 ± 0,4	39,6 ± 6,7	18,2 ± 4,3	57,1 ± 7,2

Tabelle 3: Gesamtfusionsbreite (GFB)

Gruppe I VP	GFB in °	RA in °	LA in °	(RA + LA) in °	RA in %	LA in %	(RA + LA) in %
1	7,5	3,0 ± 0,20	1,42 ± 0,20	4,42 ± 0,29	40 ± 2,7	18,9 ± 2,7	58,9 ± 3,9
2	8,0	3,17 ± 0,38	1,8 ± 0,18	4,87 ± 0,42	39,6 ± 4,8	22,5 ± 2,3	60,9 ± 5,3
3	8,5	2,88 ± 0,35	2,75 ± 0,14	5,63 ± 0,38	33,9 ± 4,1	32,4 ± 1,6	66,2 ± 4,5
4	9,5	3,83 ± 0,29	1,5 ± 0,25	5,33 ± 0,38	40,3 ± 3,0	15,8 ± 2,6	56,1 ± 4,0
5	9,5	3,38 ± 0,3	2,13 ± 0,24	5,51 ± 0,38	35,6 ± 3,1	22,4 ± 2,5	58,0 ± 4,0
6	10,5	4,71 ± 0,32	3,01 ± 0,18	7,72 ± 0,37	44,9 ± 3,0	28,7 ± 1,7	73,6 ± 3,5
$\bar{X}_I$		3,5 ± 0,28	2,1 ± 0,27	5,58 ± 0,46	39,0 ± 1,6	23,5 ± 2,5	63,2 ± 2,7
Gruppe II							
7	13,0	2,33 ± 0,14	3,63 ± 0,13	5,96 ± 0,19	17,9 ± 1,1	27,9 ± 1,0	45,8 ± 1,7
8	13,0	3,88 ± 0,31	2,5 ± 0,29	6,38 ± 0,42	29,8 ± 2,4	19,2 ± 2,2	49,0 ± 3,2
9	14,5	3,0 ± 0,32	1,88 ± 0,13	4,88 ± 0,35	20,7 ± 3,6	13,0 ± 0,9	33,7 ± 2,4
10	15,0	5,91 ± 0,35	4,33 ± 0,29	10,24 ± 0,45	39,4 ± 2,3	28,9 ± 2,3	68,3 ± 3,0
11	17,0	4,5 ± 0,28	3,5 ± 0,20	8,0 ± 0,34	26,5 ± 1,6	20,6 ± 1,2	47,1 ± 2,0
$\bar{X}_{II}$		3,93 ± 0,61	3,17 ± 0,43	7,09 ± 0,93	26,9 ± 2,2	21,9 ± 2,9	48,8 ± 5,5
$\bar{X}_{(I+II)}$		3,69 ± 0,31	2,59 ± 0,29	6,27 ± 0,52	33,5 ± 2,6	22,8 ± 1,8	56,6 ± 3,5

Tabelle 4: Einfluß des Drehwinkels α

VP	Drehwinkel α in ^{o}	RA in ^{o}	LA in ^{o}	(RA+LA) in ^{o}	RA in %	LA in %	(RA+LA) in %
1		+1,25	+0,67	+1,91	5o	26,8	76,8
	+2,5						
2		+1,0	+0,75	+1,75	40	30	70
1		+1,83	+1,16	+2,99	36,6	23,2	59,8
	+5,0						
2		+1,71	+1,57	+3,28	34,2	31,4	65,6
1		+2,44	+1,91	+4,35	34,9	27,3	62,2
	+7,0						
2		+2,51	+1,98	+4,49	35,9	28,3	64,2

Legende zu den Tabellen 1 - 4 :

RA in ^{o} : Amplitude der motorischen Antwort des rechten Auges in Grad

LA in ^{o} : Amplitude der motorischen Antwort des linken Auges in Grad

(RA+LA) in ^{o} : Summe der motorischen Antworten des rechten und des linken Auges in Grad

GFB in ^{o} : Die Gesamtfusionsbreite entspricht der Summe der Bilddrehungen in Ex- und Inzyklorotation.

In den Tabellen 1 - 3 entsprechen alle angeführten Zahlen Mittelwerten, die mit ihren Standardabweichungen angegeben sind (vgl. 4.5.1., 4.5.2., 4.5.3.).

5.6. Synopsis der Ergebnisse

5.6.1. Zyklovergenz ist durch Lagebestimmung des Blinden Fleckes nachweisbar.

5.6.2. Exzyklorotation des Bildes eines Auges (in unserem Versuch des rechten Auges) führt zu Außenrollung beider Augen.
Inzyklorotation des Bildes eines Auges (in unserem Versuch des rechten Auges) führt zu Innenrollung beider Augen.
Die motorische Antwort beider Augen ist in der Regel gekoppelt, aber nicht streng symmetrisch.

5.6.3. Steigerung des Drehwinkels α bewirkt eine absolute Amplitudenzunahme.

5.6.4. Die motorische Antwort auf Zyklodisparität ist in der Regel unvollständig.

5.6.5. Die aus den Untersuchungen über die Lageveränderung des Blinden Fleckes gewonnenen Daten sind denen der subjektiven Methode vergleichbar.

6. Diskussion

6.1. Nachweis der Zyklovergenz

Es wurde geprüft, ob Zyklovergenz durch Lagebestimmungen des Blinden Fleckes bei verschiedenen Bildstellungen nachweisbar ist. Die angenommene Augenrollung bei Fusion gedrehter Bilder und ihr binokularer Charakter konnte für alle elf Versuchspersonen durch unsere Untersuchungen in Ex- und Inzyklorotation (4.3.2.2./5.1. und 4.3.2.3./5.2.) gezeigt werden.

6.2. Vergleich der Ergebnisse mit früheren Arbeiten; Untersuchung möglicher Einflüsse

Unsere Messungen der Zyklovergenz stehen in Einklang mit denen von Crone (1975) und Kertesz (1978). Die Fusion gedrehter Bilder führt grundsätzlich zu gleichen qualitativen Ergebnissen, d.h. Exzyklovergenz der Augen bei Exzyklorotation des Bildes des rechten Auges und Inzyklovergenz der Augen bei Inzyklorotation des Bildes des rechten Auges. Ein Vergleich der Größenordnung der Zyklofusion und der Zyklovergenz aus früheren Untersuchungen ist in Tabelle 7 aufgeführt. Unsere Maximalwerte der motorischen Antworten betrugen $+5{,}75^{\circ} \pm 0{,}32^{\circ}$ bei $+8{,}5^{\circ}$ Exzyklorotation (VP 10) und $-4{,}83^{\circ} \pm 0{,}24^{\circ}$ bei $-8{,}5^{\circ}$ Inzyklorotation (VP 11).
Jedoch sind die gemessenenen motorischen Amplituden anderer Arbeiten untereinander und auch mit dieser nur bedingt vergleichbar, da Versuchsaufbau, Methode und die Auswahl der Versuchspersonen stark divergieren. Trotzdem lassen sich gewisse Abhängigkeiten und Tendenzen ableiten.

6.2.1. Einfluß der Größe des Fusionsbildes auf die Zyklovergenz

Wir benutzten große Fusionsbilder mit einem Durchmesser

Autor/Jahr	Methode	Bilddurchmesser	Bild/Exzyklorot.
Nagel 1861, 1868	subjektive Methoden (Stereoskop, Nachbilder)	?	+10
Hofmann, Bielschowsky 1900	subjektive Methode (Haploskop)	?	+5 bis +8
Berger 1953	subjektive Methode (Methode der Bildtrennung nicht genannt)	?	+8,8 bis +11,76
Kertesz 1970	objektive Messung (photograph. Methode)	10,5	+5,0
Crone, Everhard 1975	objektive Messung (photograph. Methode)	25	+7,0
Kertesz 1978	objektive Messung (search coil technique nach Robinson 1963)	50 30 10	+5,0 +5,0 +5,0
Sullivan, Kertesz 1979	wie Kertesz 1978	50 27	
eigene Untersuchung 1984	Lagebestimmung des Blinden Fleckes am Haploskop	35	+5,0 bis +8,5

Tabelle 7: Vergleich der Größenordnung der Zyklofusion und der Zyklovergenz früherer Arbeiten (Auswahl). Alle Meßdaten in Winkelgrad.

RA rechtes Auge
LA linkes Auge
VP Versuchspersonen

Exzykloverg. (RA+LA)	Bild/Inzyklorot.	Inzykloverg. (RA+LA)	Anzahl VP
Vergenz nachgewiesen, aber nicht gemessen	-10	-5 RA/-5 LA geschätzt aufgrund der Nachbilder	?
Vergenz nachgewiesen			?
+0,59 bis +2,02	-6,71 bis -9,80	-0,94 bis -1,71	35
keine Vergenz meßbar	-5,0	keine Vergenz meßbar	3
+2,5	-7,0	-5,5	1 (+1)
+2,1	-5,0	-3,5	1
+1,5	-5,0	-3,3	1
+1,1	-5,0	-1,0	1
	-5,75	-2,8	1 (+1)
	-5,75	-3,1	1 (+1)
+2,4 bis +5,7	-2,5 bis -8,5	-1,1 bis -4,8	11

von 35°, da ausgehend von den Erfahrungen von Sullivan und Kertesz (1979) vor allem die periphere Netzhautstimulation entscheidenden Einfluß auf das Ausmaß der motorischen Amplitude ausübt und weiterhin bei kleinen Bilddurchmessern, die auch kleine motorische Antworten erzeugen, die Messung erschwert werden oder der Meßwert sogar in den Bereich der Meßungenauigkeit fallen kann (Kertesz 1970, 1971, 1978).
Unsere Ergebnisse mit relativ großen Amplituden der Zyklovergenz gegenüber früheren Untersuchungen (Tabelle 7) stützen damit diese Annahme.
So liegt der Grund für die negativen Ergebnisse von Kertesz 1970 in der ungünstigen Auswahl von Fusionsbildern mit einem Durchmesser von nur 10° (ebenfalls Krekling 1973). Kertesz nahm daraufhin an, daß Bilder mit kleinem Durchmesser (ca. 10°) in erster Linie sensorisch fusioniert würden.
Andererseits scheint eine Vergrößerung des Fusionsbildes auf 50° keinen deutlichen Einfluß mehr auf die Amplitude der motorischen Antwort zu bewirken (Sullivan, Kertesz 1979).

6.2.2. Einfluß der Konturenlage und des Konturenreichtums des Fusionsbildes auf die Zyklovergenz

Es herrscht weitgehend Einigkeit darüber, daß bei Drehung horizontaler Linien eine größere Fusionsbreite nachweisbar ist als bei Drehung vertikaler Linien (Nagel 1868, Verhoeff 1934, Crone 1975, Kertesz 1978).
Nagel stellte dies bereits 1868 fest: bei geringfügiger Drehung vertikaler Linien könne er keine Zyklovergenz nachweisen; die Fusion erfolge rein sensorisch. Durch die Querdisparation trete eine Änderung des stereoskopischen Effektes auf, indem die Verschmelzungslinien nach vorne oder hinten geneigt erschienen.
Möglicherweise kann die besondere Form der Panumschen Areale mit großem horizontalen und kleinem vertikalen

Durchmesser dies erklären (Ames et al. 1932, Hommer und Schubert 1963, Crone und Leuridan 1973).
Während bei Querdisparation die Diplopieschwelle relativ hoch ist und somit das Panumsehen ausreicht, ist die Toleranz für die Drehung horizontaler Konturen, die Vertikaldisparität erzeugen, aufgrund der geringen vertikalen Ausdehnung der Panumschen Areale gering und es wird Zyklovergenz zur Fusion notwendig. Die Drehung horizontaler Konturen muß demnach der stärkere Reiz zur Vergenz sein und gleichzeitig die Zyklofusionsbreite bestimmen.

Ebenso bieten komplexe, konturenreiche Bilder wesentlich bessere Reize als einzelne horizontale oder vertikale Linien (Hofmann und Bielschowsky 1900, Verhoeff 1934, Crone 1975, Hooten 1979).

Dementsprechend erwiesen sich die von uns verwendeten Fusionsbilder mit zahlreichen Konturen als geeignete Stimuli zur Auslösung einer relativ starken Zyklovergenz.

6.2.3. Individuelle Fusionsbreite

Wir fanden sehr verschieden große Fusionsbreiten. Dies läßt sich durch individuell unterschiedliche Fusionsübung und -fähigkeit erklären (Burian, v.Noorden 1980).
Kertesz (1978) gibt weiterhin eine große Variabilität der Ausdehnung der Panumschen Areale an.
Übung der Fusion führt zum einen zu einer Steigerung der Fusionsbreite (Nagel 1868, Hering 1868), zum anderen aber auch zu einer Zunahme der Amplitude der motorischen Antwort (Berger 1953).
So beruht wahrscheinlich die größere Amplitude der motorischen Antwort bei der Untersuchung über den Einfluß der Bilddrehung (4.3.3./5.4. = A in der folgenden Tabelle 8) im Vergleich zu der Untersuchung der Exzyklovergenz (4.3.2.2./5.1. = B in der folgenden Tabelle 8) bei gleichem Drehwinkel α auf Übung, da bei der Untersuchung über

den Einfluß der Bilddrehung die Fusion wachsender Zyklodisparität geübt wurde.

	Drehwinkel α	Vergenz A (RA+LA)	Vergenz B (RA+LA)
VP 1	$+5,0^{\circ}$	$+2,99^{\circ}$	$+2,42^{\circ}$
VP 2	$+5,0^{\circ}$	$+3,28^{\circ}$	$+2,80^{\circ}$

Tabelle 8 : Vergleich der Zyklovergenz bei gegebenem Drehwinkel α

RA rechtes Auge
LA linkes Auge
VP Versuchsperson

Neben dieser Steigerung der motorischen Zyklofusion nahm auch die Fusionsbreite durch die Konditionierung im Versuch 4.3.3./5.4. um jeweils 2° zu.
Entsprechenden Zuwachs (2° nach 20 Minuten Fusionsübung) fand Berger (1953). Auch bei Berger beruht „der Zuwachs der Fusionsbreite nicht auf einer Vergrößerung des sensorischen Anteils der Fusion, sondern auf einem vermehrten muskulären Ausgleichtonus".

6.2.4. Unterschiede der Ex- und Inzyklovergenz

Bei unseren Untersuchungen wurden von einzelnen Versuchspersonen deutlich größere Drehwinkel α in Exzyklorotation toleriert als in Inzyklorotation. Das Mittel (11 VP) der motorischen Antwort war jedoch mit 56,1% ± 4,8% (Exzyklovergenz) und 57,1% ± 7,2% (Inzyklovergenz) bezogen auf den Drehwinkel α sehr ähnlich. Die größere Fusionsbreite bei Exzyklorotation ist naheliegend, da bei jeder Konvergenz und bei Blicksenkung eine Auwärtsrollung auftritt als Ausgleich der Innenrotation nach dem Listingschen Gesetz. Crone (1975) und Kertesz (1978) geben in ihren Arbeiten ein umgekehrtes Verhältnis an. Bei Inzyklorotation wurden

größere Drehwinkel fusioniert und die stärksten motorischen Antworten registriert. Jedoch wurde dieses Verhältnis aufgrund der Ergebnisse jeweils nur bei einer Versuchsperson gefunden; auch wir fanden diese Inversion bei einem Fall (VP 6).

Möglicherweise stehen diese Ergebnisse in Zusammenhang mit unterschiedlichen Versuchsmethoden. Abhängig davon, ob zuerst Ex- oder Inzyklorotation der Bilder vorgegeben wurde, können die Ergebnisse zusätzlich im Sinne einer Konditionierung beeinflußt worden sein.

6.2.5. Einfluß der Bilddrehung auf die Zyklovergenz

Unsere Ergebnisse führen zur Annahme, daß kleine Drehwinkelα eine relativ stärkere motorische Antwort hervorrufen als große Drehwinkelα . Dies zeigte sich bei den Untersuchungen der Ex- und Inzyklovergenz (4.3.2.2./5.1. und 4.3.2.3./5.2.) und bei der gesonderten Prüfung des Einflusses der Bilddrehung (4.3.3./5.4.).
Motorische Fusion setzt wohl bereits ein, bevor die sensorische Fusion bzw. das Panumsehen völlig genutzt ist. Schon eine geringe Zyklodisparität von Fusionsbildern stellt somit einen relativ wirksamen Stimulus zur Zyklovergenz dar.
Burian und v.Noorden (198o) geben jedoch an, daß „um Fusionsbewegungen zu erzeugen, die Disparität größer sein muß als die Ausdehnung der Panumschen Areale; sonst tritt sensorische Fusion ohne motorische Fusion ein. Die Größe der Panumschen Areale entspricht der unteren Grenze der Disparität, die notwendig ist, um Fusionsbewegungen hervorzurufen".
Unsere Befunde sprechen jedoch gegen diese Annahme, denn bei Steigerung der Drehwinkelα nimmt die Vergenz nicht im gleichen Maße wie die Bilddrehung zu. Daraus folgern wir, daß bei kleinen Drehwinkelnα die sensorische Fusionsreserve nicht vollständig ausgeschöpft wird.

6.2.6. Verhältnis der motorischen und sensorischen Anteile an der Zyklofusion

Es ist allgemein anerkannt, daß Zyklodisparität nur unvollständig durch Zyklovergenz ausgeglichen wird (Nagel 1868, Berger 1953, Crone 1975, Sullivan 1978, Kertesz 1978).
Wie in den Punkten 6.2.1. und 6.2.2. angeführt, beeinflussen Größe und Art der Fusionsbilder die motorische Antwort. Aus 6.2.5. folgt, daß kleine Drehwinkel α die relativ größte motorische Antwort (relativ im Verhältnis zur Fusionsbreite) provozieren, ihre absolute Amplitude aber mit Zunahme des Drehwinkels α noch wächst.
Wir fanden in unseren Versuchen ein Verhältnis von 1 : 1 bis 1,5 : 1 Motorik zu Sensorik. Wir konnten somit die Ergebnisse von Berger nicht bestätigen. Berger (1953) gab ein Verhältnis von Motorik zu Sensorik bei Zyklovergenz von 1 : 4,8 an und erklärte, daß die geringe muskuläre Komponente bei der Verrollung nur darauf beruhe, daß für relativ hohe Verrollungsgrade das Panumsehen allein ausreiche.
Wir führen unsere größeren motorischen Antworten auf die Art und den Konturenreichtum unserer Fusionsbilder zurück.

Richtig ist jedoch - wie Berger weiterhin angibt -, daß das Panumsehen individuelle Schwankungen zeigt. Auch Kertesz (1978) erklärt die so unterschiedliche Ausprägung der sensorischen Komponente durch die breite interindividuelle Spanne der Ausdehnung der Panumschen Areale.

6.3. Verhältnis der monokularen Anteile der Zyklovergenz bei asymmetrischer Drehung der Fusionsbilder

Auf eine Besonderheit im Versuchsaufbau ist noch hinzuweisen; wir benutzten zu allen Untersuchungen eine asymmetrische Drehung der Fusionsbilder. In allen Fällen

wurde nur das Bild des rechten Auges gedreht, das Bild des linken Auges verblieb immer in Orthostellung. Durch diese asymmetrische Bilddarbietung sollte geprüft werden, ob die motorische Antwort beider Augen im Sinne des Heringschen Gesetzes gekoppelt ist und welchen Anteil jedes Auge zur Zyklovergenz beiträgt.
Unsere Ergebnisse zeigen diese gekoppelte Antwort und weisen weiterhin auf eine mäßig stärkere Beteiligung des Auges hin, dem das gedrehte Bild angeboten wird, in unserem Falle des rechten Auges.
Möglich wäre daher, daß ein monokulares System existiert, das vertikale und horizontale Konturen auf den entsprechenden Netzhautmeridianen zur Abbildung bringen soll.
Als klinisches Analogon findet sich dazu die Beobachtung bei Patienten mit einer Trochlearisparese des rechten Auges, die zu einer Auswärtsrollung des Bulbus führt. Okkludiert man das rechte Auge, so hält der Patient den Kopf gerade; bei Linksokklusion zeigt er jedoch Kopfneigung nach links, wodurch die Verrollung des gelähmten Auges kompensiert wird (Herzau, persönliche Mitteilung, 1982).

Daß es überhaupt nicht-fusionelle Rollung der Augen bei Anbieten schräger Konturen gibt, ist bewiesen (Crone 1975). Er fand bei der optostatischen Untersuchung bis zu 1° Rollung. Mesker (1953) maß knapp 2° Rollung.

Auch trifft das Heringsche Gesetz, daß bei koordinierten Augenbewegungen ein Muskel des einen Auges mit einem zugeordneten Muskel des anderen Auges durch gleichzeitige Innervation gepaart ist und diese immer in einem bestimmten Kräfteverhältnis agieren, bei strenger Anwendung nicht in allen Fällen zu (VP 4, 6 bei Inzyklorotation des Bildes). Crone (1975), Bahill (1977), Kertesz (1978) und Hooten (1979) berichten ebenfalls - bei genereller Annahme des Heringschen Gesetzes - über Verletzungen, ohne daß bei den jeweiligen Versuchspersonen Augenmuskelstörungen ge-

funden werden konnten.

Jedoch zeigt Kertesz (1978), indem er die Augenbewegungen bei Zyklovergenz einer Versuchsperson dynamisch registrierte, daß die motorische Antwort des rechten und des linken Auges in Amplitude und Bewegungsablauf auffallend ähnlich, wenn auch nicht identisch ist. Er fand diese Ähnlichkeit beider Augen bei symmetrischer und asymmetrischer Bilddrehung (Kertesz 1978).

6.4. Zyklovergenz

Hypothetisch wären mehrere Möglichkeiten zur motorischen Kompensation zyklodisparater Bilder möglich.
Für den gegebenen Fall eines asymmetrischen Versuchsaufbaues mit Drehung des Bildes des rechten Auges käme zum einen die alleinige Verrollung des rechten Auges gleichsinnig der Bilddrehung in Betracht, zum anderen eine alleinige Verrollung des linken Auges gegensinnig der Bilddrehung oder aber eine binokulare Augendrehung, wobei die des rechten Auges wiederum gleichsinnig der Bilddrehung, die des linken Auges gegensinnig wäre.

Die Augenrollung könnte dabei in jedem der drei Fälle vollständig oder unvollständig die Disparität kompensieren.
Ziel dieser Korrekturbewegung ist die Abbildung auf korrespondierenden Netzhautstellen.

Unsere Ergebnisse zeigen, daß die dritte Möglichkeit zutrifft.
So erfolgt eine gegensinnige Drehung der Netzhautmeridiane beider Augen, die damit auf den binokularen Charakter zyklofusioneller Bewegungen weist.
(Vgl. Abbildung 4.)

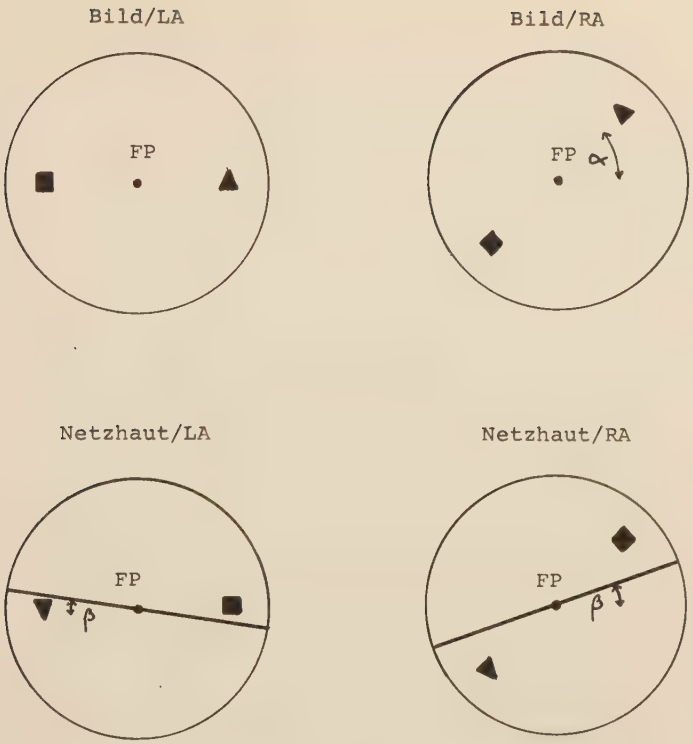

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Zyklovergenz bei Drehung des Bildes des rechten Auges unter haploskopischen Bedingungen. Projektion auf die Netzhaut; Netzhautbild von hinten gesehen.

LA linkes Auge
RA rechtes Auge
FP Fixationspunkt
α Winkel der Bilddrehung
β Winkel der Augendrehung

Die Winkel der Bild- und Augendrehung sind willkürlich gewählt; jedoch ist die Summe von $\beta_{RA} + \beta_{LA} \triangleq \alpha_{RA}$.

Dabei zeigt sich, daß die Summe der Vergenzbewegungen des rechten Auges und des linken Auges in der Regel kleiner ist als der Betrag des Drehwinkels α des Bildes. Daraus ist zu schließen, daß es zum Einfachsehen ausreichend ist, wenn die Disparität nach fusioneller Vergenz innerhalb des Panumschen Raumes liegt,und daß weiterhin eine punktuell korrespondierende Netzhautreizung nicht notwendig zu sein scheint.

6.5. Vergleich der Ergebnisse der Lagebestimmung des Blinden Fleckes und der Ergebnisse der subjektiven Methode nach 4.3.4.

Wir untersuchten mit diesen zwei grundsätzlich verschiedenen subjektiven Methoden die Zyklovergenz und fanden weitgehend ähnliche Ergebnisse. Die Meßunterschiede führen wir in erster Linie auf die Schwierigkeiten zurück, die die übliche subjektive Untersuchungsmethode der Zyklovergenz bietet - die gleichzeitige Beurteilung des Fusions- und des Prüfbildes.

Die Suche nach einer subjektiven Methode zur Messung der Zyklovergenz sollte u.a. auch die Frage klären, inwieweit durch die subjektiven Methoden tatsächlich die Zyklovergenz erfaßt werden kann. Crone und Everhard-Halm (1975) fanden eine enge Übereinstimmung zwischen ihren subjektiven und objektiven Meßwerten. Objektive Messungen führten sie an zwei Versuchspersonen durch. In einem Fall fanden sie Übereinstimmung, im anderen Fall ergab die objektive Messung geringfügig höhere Werte als die subjektive. In Anlehnung an Crones Arbeit wiederholten Kertesz und Hampton (1983) dessen Versuche in leicht modifizierter Form; sie strebten dabei an, durch die Ausrichtung der Versuche und die Auswahl der Versuchspersonen eine möglichst hohe Übereinstimmung in der objektiven und subjektiven Methode zu gewinnen. Sie fanden jedoch signifikante Meßunterschiede, die die Zuverlässigkeit der

üblichen subjektiven Methode zur Beurteilung der Zyklovergenz in Frage stellen.
Mit welcher Genauigkeit nun durch die subjektiven Methoden die Zyklovergenz gemessen werden kann, bleibt weiterhin ungeklärt. Crones und unseren Ergebnissen - es soll noch einmal betont werden, daß wir mit zwei unterschiedlichen subjektiven Methoden Zyklovergenz geprüft haben - muß daher einschränkend Kertesz' und Hamptons Arbeit (1983) gegenübergestellt werden, die einen Fehler für die subjektive Methode angibt, über seine Größe jedoch keine Aussagen trifft. Unter dem Vorbehalt der bedingten Vergleichbarkeit ist die von Kertesz angegebene Abweichung der objektiven und subjektiven Messung größer als die Meßunterschiede unserer zwei subjektiven Methoden.

6.6. Brauchbarkeit und Anwendungsbereich der Lagebestimmung des Blinden Fleckes zur Messung von Zyklodeviationen der Augen

Die in dieser Arbeit verwandte Methode stellt durch ihre perimetrische Technik eine subjektive Untersuchung dar. Die bisher üblichen subjektiven Untersuchungsmethoden der Zyklovergenz basieren auf der Einschätzung der Lagebeziehung zweier monokularer Halbbilder durch den Untersuchten, setzen also eine normale binokulare Sensorik voraus. Darüber hinaus stellen solche Untersuchungen hohe Anforderungen an die Versuchsperson, denn es müssen simultan Fusionsbild und Prüfbild beurteilt werden und zusätzlich das Prüfbild manuell eingestellt werden.

Die Lagebestimmung des Blinden Fleckes ist für den Untersuchten einfacher und naturgemäß unabhängig von der lokalisatorischen Empfindung der Netzhaut. Sie gibt deshalb auch bei Umwertung der retinalen Raumwerte, wie sie vor allem beim frühkindlichen Schielen im Sinne der anomalen Netzhautkorrespondenz auftreten kann, Auskunft über die tatsächliche Vergenzstellung der Augen. Die so ermittel-

ten Befunde entsprechen deshalb in ihrer Aussagekraft objektiv gewonnenen Meßwerten.

Gegenüber den objektiven Untersuchungsmethoden wie der Photographie oder der Search-Coil-Technik kann die „Blinde-Fleck-Methode" mit jedem Projektionshaploskop einer orthoptischen Abteilung und unter weitgehend beliebigen Sehbedingungen für den Untersuchten durchgeführt werden.

Neben dem Nachweis einer erfolgten Bulbusrollung, wie sie in dieser Arbeit erfolgte, gibt die Lage der Blinden Flecke im Gesichtsfeld zusätzlich Auskunft über die objektive Zyklovergenzstellung beider Augen unter natürlichen Sehbedingungen. Entsprechende monokulare Untersuchungen wurden schon von Rössler (1920) bei normalen Versuchspersonen sowie von Weiss (1966) und Locke (1969) bei Patienten durchgeführt. Abweichungen von der normalen Zyklovergenzstellung können sonst nur durch die Fundusphotographie über die Lagebeziehung zwischen Foveola und Papille ermittelt werden, allerdings nur unter unnatürlichen Sehbedingungen.

7. Zusammenfassung

Zyklodisparität kann in einem bestimmten Rahmen durch sensorische und motorische Mechanismen ausgeglichen werden. Die motorische Leistung entspricht einer Bulbusrollung um die Sehachse mit dem Ziel einer Abbildung des angeblickten Objektes auf korrespondierenden Netzhautstellen.
Wir erzeugten zyklodisparate Bilder durch asymmetrische Drehung zweier identischer Fusionsbilder. Die Zyklovergenz wurde durch Lagebestimmungen des Blinden Fleckes beider Augen gemessen. Die Untersuchung erfolgte an einem Projektionshaploskop.
Bei elf Versuchspersonen wurde die motorische Antwort auf Exzyklorotation und Inzyklorotation vorgegebener Fusionsbilder bestimmt. Die Ergebnisse wurden verglichen mit denen der üblichen subjektiven Untersuchungsmethode der Zyklovergenz.
Wir fanden in allen Fällen fusionierter Zyklodisparität eine motorische Antwort, die mit zwei Ausnahmen immer binokularen Charakter aufwies.
Die Amplitude der motorischen Antwort zeigt eine Abhängigkeit von der Größe des Drehwinkels der Fusionsbilder. Konturenlage, Muster und Größe des Fusionsbildes üben ebenfalls einen wichtigen Einfluß aus.
Das Verhältnis der motorischen und sensorischen Leistung zur Kompensation von Zyklodisparität ist bei verschiedenen Versuchspersonen sehr unterschiedlich.
In fast allen Fällen war die Antwort auf Zyklodisparität eine motorische und sensorische Fusion.

Wir nehmen aufgrund unserer Untersuchungen an, daß Zyklovergenz ein binokularer, sensorisch gesteuerter Vorgang ist.
Die Methode ist vorteilig gegenüber der üblichen subjektiven Prüfung, weil sie unter natürlichen Sehbedingungen durchgeführt werden kann, einfacher zu handhaben ist und

auch bei anomaler Netzhautkorrespondenz des Untersuchten Aussagen über die Augenstellung erlaubt.

8. Literaturverzeichnis

Ames, A.Jr.; Ogle, K.N.; Gliddon, G.H.
Corresponding retinal points, the horopter and size and shape of ocular images. Part I
J.opt.Soc.Amer. 22, 538-574 (1932 a)

Ames, A.Jr.; Ogle, K.N.; Gliddon, G.H.
Corresponding retinal points, the horopter and size and shape of ocular images. Part II
J.opt.Soc.Amer. 22, 575-631 (1932 b)

Bahill, A.T.; Stark, L.
Oblique saccadic eye movements. Independence of horizontal and vertical channels.
Arch.Ophthal. (Chicago) 95, 1258-1261 (1977)

Berger, L.
Die Fusion höhendistanter und gedrehter Doppelbilder.
Albrecht v. Graefes Arch.Ophthal. 154, 389-400 (1953)

Burian, H.M.; Noorden, G.K.v.
Binocular vision and ocular motility.
Mosby; St.Louis, Toronto, London, 74 (1980)

Crone, R.A.
Human cyclofusional response.
Vision Res. 11, 1357-1358 (1971)

Crone, R.A.
Optically induced eye torsion. Optostatic and optokinetic cycloversion.
Albrecht v. Graefes Arch.Ophthal. 196, 1-7 (1975)

Crone, R.A.; Everhard-Halm, Y.
Optically induced eye torsion. Fusional cyclovergence.
Albrecht v. Graefes Arch.Ophthal. 195, 231-239 (1975)

Crone, R.A.; Leuridan, O.M.A.
Tolerance for aniseikonia.
Albrecht v. Graefes Arch.Ophthal. 188, 1-22 (1973)

Duke-Elder, S.
System of ophthalmology. The physiology of the eye and of vision.
Henry Kington, London. Vol. IV, 677-682 (1968)

Duke-Elder, S.
System of ophthalmology. Ocular motility and strabismus.
Henry Kington, London. Vol. VI, 555-559 (1973)

Ellerbrock, V.J.
Experimental investigation on cyclofusion.
Amer.J.Optom. 23, 327-341 (1946)

Ellerbrock, V.J.
Inducement of cyclofusional movements.
Amer.J.Optom. 31, 553-556 (1954)

Friedburg, D.; Meyer, I.
Zyklofusionsmessung zur Beurteilung der Funktion der schrägen Augenmuskeln.
Klin.Mbl.Augenheilk. 172, 80-84 (1978)

Helmholtz, H.v.
Über die Augenbewegungen.
Heidelberg, Jahrb.d.Lit., 258 (1865)

Hering, E.
Die Lehre vom binokularen Sehen.
Leipzig, Engelmann (1868), zitiert nach Nagel., A. (1868)

Hering, E.
Über die Rollung des Auges um die Gesichtslinie.
Albrecht v. Graefes Arch.Ophthal. 15, 1-16 (1869)

Hering, E.
Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges.
In: Hermann, L.v.: Handbuch der Physiologie, Leipzig, F.C.W.Vogel, 3, 5o4 (1879)

Herzau, V.
Untersuchungen über das binokulare Gesichtsfeld Schielender.
Doc.Ophthal. 49, 221-284 (1980)

Hofmann, F.B.; Bielschowsky, A.
Über die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen.
Pflügers Arch.ges.Physiol. 80, 1-40 (1900)

Hommer, K.; Schubert, G.
Die absolute Größe der fovealen rezeptorischen Feldzentren und der Panum-Areale.
Albrecht v. Graefes Arch.Ophthal. 166, 2o5-210 (1963)

Hooten, K.; Myers, E.; Worrall, R.; Stark, L.
Cyclovergence: the motor response to cyclodisparity.
Albrecht v. Graefes Arch.klin.exp.Ophthal. 21o, 65-68 (1979)

Kertesz, A.E.
More on human cyclofusional response: a reply to Crone's comments.
Vis.Res. 11, 1359 (1971)

Kertesz, A.E.
The effect ot stimulus complexity on human cyclofusional response.
Vis.Res. 12, 699-704 (1972)

Kertesz, A.E.; Hampton, D.R.
The unreliability of subjective probe estimates of cyclofusional vergence performance.
Graefe's Arch.Clin.Exp.Ophthal. 220, 100-101 (1983)

Kertesz, A.E.; Jones, R.W.
Human cyclofusional response.
Vis.Res. 10, 891-896 (1970)

Kertesz, A.E.; Sullivan, M.J.
The effect of stimulus size on human cyclofusional response.
Vis.Res. 18, 567-571 (1978)

Krekling, S.
Comments on cyclofusional eye movements.
Albrecht v. Graefes Arch.klin.exp.Ophthal. 188, 231-237 (1973)

Locke, J.C.
A new diagnostic approach to ocular vertical muscle imbalance. A study of blind spot heterotopia.
Progress in neuro-ophthalmology.
Brunette, J.R. & Barbeau, A.: Excerpta Medica Foundation. Amsterdam, 192-205 (1969)

Lyle & Jacksons
Practical Orthoptics in the treatment of squint.
5th Edit., H.K.Lewis & Co.Ltd, London, 68-93 (1967)

Mesker, R.P.
De optische localisatie.
Amsterdam: Swets & Zeitlinger (1953), zitiert nach Crone, R.A. (1975)

Nagel, A.
Das Sehen mit zwei Augen.
Leipzig, C.F.Winter, 51 (1861)

Nagel, A.
Über das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie.
Albrecht v. Graefes Arch.Ophthal. 14, 228-246 (1868)

Noorden, G.K.v.
Clinical observations in cyclodeviations.
Ophthalmology 86, 1451-1461 (1979)

Ogle, K.N.; Ellerbrock, V.J.
Cyclofusional movements.
Arch.Ophthal. 36, 700-735 (1946)

Rössler, F.
Die Höhenstellung des blinden Fleckes in normalen Augen.
Archiv für Augenheilkunde, München, 86, 55-85 (1920)

Sullivan, M.J.; Kertesz, A.E.
The nature of fusional effort in diplopic regions.
Vis.Res. 15, 79-83 (1975)

Sullivan, M.J.; Kertesz, A.E.
Binocular coordination of torsional eye movements in cyclofusional response.
Vis.Res. 18, 943-949 (1978)

Sullivan, M.J.; Kertesz, A.E.
Peripheral stimulation and human cyclofusional response.
Invest.Ophthalmol.Vis.Sc. 18, 1287-1290 (1979)

Verhoeff, F.
A description of the reflecting phorometer and a discussion of the possibilities concerning torsions of the eyes.
Tr.Am.Ophth.Soc. 8, 490-503 (1899)

Verhoeff, F.
A theory of binocular perspective and some remarks upon torsions of the eyes.
Ann.Ophth. 2, 201-229 (1902)

Verhoeff, F.
Cyclophoria.
Amer.J.physiol.Optics 7, 246-249 (1926)

Verhoeff, F.
Cycloduction.
Tr.Am.Ophth.Soc. 32, 208-228 (1934)

Weiss, J.B.
Ectopies et pseudoectopies maculaires par rotation.
Bull.Mem.Soc.Fr.Ophthalmol. 79, 329-341 (1966)

9. Lebenslauf

Am 30.07.1957 wurde ich, Sigrid von Goetz und Schwanenfliess, als Tochter des Vortr. Leg. Rats I. Kl. Jörg von Goetz und Schwanenfliess und seiner Frau Marianne von Goetz und Schwanenfliess, geb. Richter, in München geboren.

Von 1964 bis 1971 besuchte ich die Deutsche Schule in Johannesburg/Südafrika, von 1971 bis 1972 das Neue Gymnasium in Göttingen und von 1972 bis 1977 die Klosterschule vom Heiligen Grab in Baden-Baden; dort legte ich im Mai 1977 das Abitur ab.

Im Wintersemester 1977 begann ich das Studium der Medizin in Homburg/Universität Saarbrücken und wechselte zum Wintersemester 1978 nach Tübingen, wo ich im August 1979 das Physikum und im August 1980 den ersten Teil der ärztlichen Prüfung bestand.

Ich verbrachte das Wintersemester 1981/82 und das Sommersemester 1982 im Rahmen eines DAAD-Stipendiums an der Universität Bordeaux.

Im März 1983 absolvierte ich in Tübingen den zweiten Teil der ärztlichen Prüfung.

Acht Monate des Praktischen Jahres leistete ich an der Universität Bordeaux ab, weitere vier Monate am Bad Cannstätter Krankenhaus.

Am 16.04.1984 legte ich in Stuttgart den dritten Teil der ärztlichen Prüfung ab.